

УДК 621.777.01

РОЗРОБКА ШТАМПІВ ДЛЯ ВИДАВЛЮВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ

Алієв І.С.¹, Левченко В.М.², Марков О.Є.¹, Сивак Р.І.³, Малій О.Г.¹,

1 – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна;

2 – Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова, м Харків, Україна;

3 – Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Процеси холодного видавлювання є ефективним методом виготовлення прецизійних деталей, з високою якістю поверхонь і точними розмірами. Стабільність процесів видавлювання залежить від надійної конструкції штампового оснащення, що працює в екстремальних умовах. Розглянуті конструкції штампів для нових способів поперечного і комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання порожнистих і стрижневих деталей з фланцями, в яких матриця виконується роз'ємною. Особливість штампів також в тому, що для підвищення точності розмірів деталей за висотою та надійності роботи, на заключній стадії видавлювання здійснюється додатковій кінематичній і силовий вплив – підсадка фланця зближенням половинок роз'ємної матриці. Запропоновано штамп для безвідходного виготовлення деталей типу втулок способом наскрізного прошивання суцільних заготовок.

Ключові слова: видавлювання; прецизійні деталі; штамп; роз'ємні і рухомі матриці; поперечне та комбіноване видавлювання.

Процеси холодного видавлювання є ефективним методом виготовлення прецизійних деталей, оскільки забезпечують високу якість поверхні і точні розміри штампованих заготовок і деталей, що знижує або повністю виключає необхідність додаткової механообробки різанням [1]. Технологічна надійність і ефективність процесів видавлювання багато в чому залежать від стійкості та собівартості деформуючого інструменту, що працює в екстремальних силових і температурних умовах, які до того ж посилюються пропорційно зростанню складності та точності виробів, що отримуються [2].

Удосконалення конструкцій штампового оснащення пов'язано як з розвитком традиційних способів поздовжнього видавлювання, так і з створенням нових способів деформування, таких як поперечне (радіальне та бокове) та комбіноване поперечно-поздовжнє видавлювання [1, 3].

Штамп для нових схем видавлювання містять такі ж робочі частини, що і звичайні штамп для поздовжнього видавлювання: пуансон, матрицю, вузли напрямки, знімання і виштовхування, а також блок штампа, що включає взаємопов'язані напрямними вузлами опорні плити, до яких прикріплені опори і власники змінного інструменту. Головна відмінність полягає в тому, що матриці виконані роз'ємними і штамп забезпечені вузлами затиску (замикання), призначеними для виконання нової функції затиску напівматриць, що утворюють при змиканні прийнятно поперечну порожнину. Функціональний аналіз штампів і вузлів затиску показує можливість генерування безлічі варіантів їх конструктивного виконання [3]. Перш за все, необхідно реалізувати множину кінематичних варіантів видавлювання в штампах з роз'ємними і рухливими матрицями [4].

Основні обмеження у використанні штампів з роз'ємними матрицями пов'язані з труднощами одночасного забезпечення затиску напівматриць і їх розкриття при зворотному ході повзуна преса. Тому крім відомих вимог до штампів (надійність, довговічність, простота налагодження, висока продуктивність), штамп з роз'ємними матрицями повинні забезпечувати щільне стиснення напівматриць на всьому протязі деформування і швидке і вільне розмикання при зворотному ході.

Ознаки стиснення і замикання напівматриць ділять все різноманіття штампів на штампи з пружинним, гідравлічним (пневматичним), механічним вузлом затиску, а також без вузла, що забезпечує затиску. За принципом дії штампи з роз'ємними матрицями можуть бути розділені на 4 групи: штампи, в яких сила затиску напівматриць повідомляється пресом, створюється спеціальним приводом, створюється і замикається в штампі або регулюється мимовільно [5]. Найпростіші компоновальні схеми штампів містять підпружинену до рухомої частини штампа напівматрицю, яка знаходиться в нерухомому стані в процесі видавлювання.

Перевага штампів, в яких замикання поперечно-рознімної матриці здійснюється механічними вузлами (скобами, важелями і т.д.) складається в замиканні сил розкриття в штамповому блоці без їх передачі на повзун преса. Недолік - в труднощі налагодження і забезпечення швидкого розкриття матриць по завершенню видавлювання. З точки зору зниження енерговитрат кращі схеми з механічними замикаючими елементами [3]. Особливістю цих штампів є можливість реалізації нового способу поперечного видавлювання з двосторонньої подачею в рухомий матриці [1, 5]. Використання рухливих матриць для регулювання кінематики течії більш переважно, тому що уможливує видавлювання по новим способам деформування і без залучення спеціального устаткування.

Слід відмітити також групу штампів, які відрізняються тим, що передбачають видавлювання в радіальну порожнину змінної висоти. При цьому поетапне збільшення висоти порожнини за допомогою клинових повзущек, систем важелів або штовхачів [2, 3].

Експериментальні дослідження силового режиму поперечного видавлювання дозволили встановити, що максимальні сили розпору матриць виникають після зняття навантаження на інструмент (в початковий момент зворотного ходу повзуна). Ця особливість призводить до ненадійної роботи штампів з механічним замиканням матриць, так як вимагає значних сил для розкриття затискних пристроїв і супроводжується заклинюванням цих пристроїв. Концептуальним рішенням проблеми усунення впливу сил розпору на надійність роботи вузлів затиску може служити схеми деформування і конструкції штампів, представлені на рис. 1 і 2. Особливість цих штампів в тому, що на заключній стадії видавлювання здійснюється додатковій кінематичній та силовий вплив – підсадка фланця зближенням половинок роз'ємної матриці (розставлених під дією зусилля розпору на величину Z). При цьому точність висотних розмірів відштампованих деталей забезпечується вже не за рахунок запобігання розкриття напівматриць, а за рахунок підсадки, що одночасно є і калібруванням. Здійснення технологічного прийому підсадки може проводитися за наступними варіантами (рис. 1):

- за схемою висадки, коли пуансон разом з напівматрицею виконують прийом за рахунок опаді металу в зоні фланця (схема *a*);
- сумісно з робочим ходом пуансона - за схемою видавлювання плюс висадка, коли пуансон рухається разом з матрицею зі швидкістю, відмінною від швидкості матриці (схема *b*);
- зі зняттям навантаження з пуансона, тобто контурної осадкою (схема *в*).

Штамп для видавлювання з підсадкою стрижневих деталей з фланцем (див. рис. 2, а) складається з верхньої та нижньої плит, з'єднаних за допомогою пар колонка-втулка. При робочому ході, напівматриця починає рухатися вниз стискаючи пружини і при цьому пуансоном з виробляється радіальне видавлювання в конічну порожнину, що звужується, і формується фланець. На заключній стадії процесу, коли напівматриця досягає обмежувача, її переміщення припиняється і здійснюється підсадка видавленого фланця за допомогою пуансон-матриці 2. Застосування даного штампа дозволило виключити два технологічних переходу і знизити тим самим собівартість деталей.

Для виготовлення деталі «болт спеціальний» розроблена і апробована у виробничих умовах технологічне оснащення для холодно-відсаджувального автомата з роз'ємними матрицями і підсадки фланця, наведена (рис. 2, б). Дослідна перевірка способів видавлювання з підсадки в умовах виробництва показала перевагу застосування схем радіального видавлювання з підсадкою

при штампуванні на холодно-відсаджувальних автоматах стрижневих деталей з фланцем і підвищення продуктивності за рахунок зменшення кількості переходів.

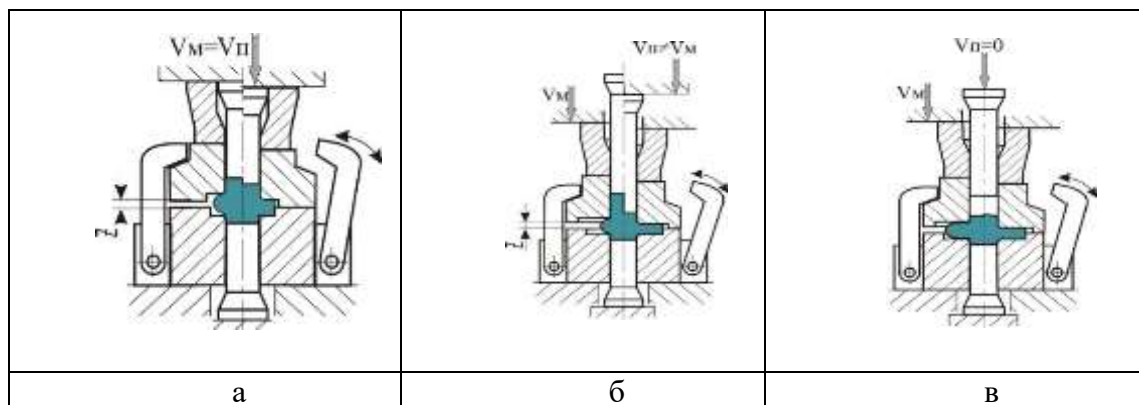


Рис. 1. Варіанти виконання способу підсадки фланцю

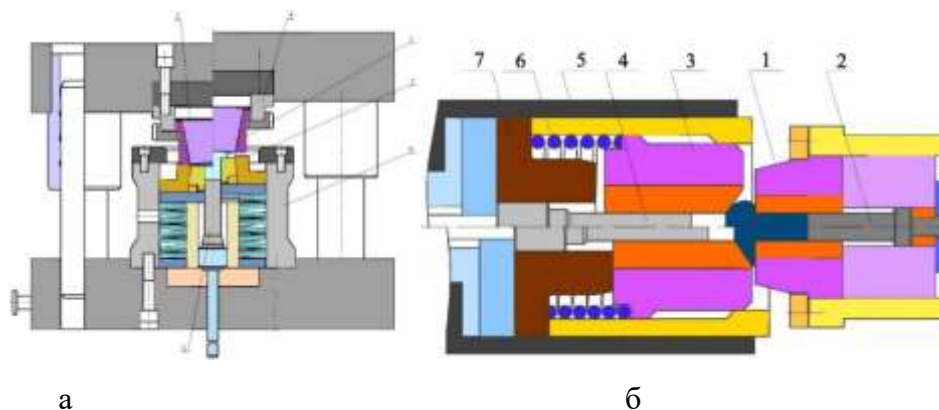


Рис. 2. Штамп для комбінованого видавлювання-висадки деталей с фланцем

Штампи для комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання деталей типу «Стакан з фланцем» також містять роз'ємні матриці. Іноді вони виконані у вигляді перевернутого пристрою, в якому пуансон розташований у нижній нерухомій частині, а матриця навпаки рухається униз сумісно з рухомою плитою (рис. 3, а) [3]. Така конструкція дозволяє спростувати виштовхування і виймання готового виробу зі штампу.

Для штампування деталей типу стакан або втулки з фланцем за схемами радіального або комбінованого видавлювання добре зарекомендували себе штампи з револьверною подачею заготовок. Те що розвантаження матриці виконується поза межами робочою зоною значно спрощує виконання вузлу затиску матриці під час пластичного деформування.

Для наскрізний закритою прошивки і видавлювання втулок розроблені різні за ступенем складності і автоматизації варіанти конструкцій штампів (рис. 3, б). Для вирівнювання деформацій і усунення утяжин втулки, отримані наскрізний прошивкою доцільно піддати прямому видавлюванню, наприклад, в штампі з відокремленням руху пуансону і оправки, що забезпечує надійне виконання циклу штампування з гарантованим зніманням і видаленням готової деталі [6].

Висновки. Розглянуті конструкції штампів для виготовлення деталей складної конструкції за новими технологічними способами радіального та поперечно-поздовжнього видавлювання. Відмічена особливість цих штампів – використання роз'ємних матриць. Для підвищення

надійності роботи і точності деталей запропоновано конструкції, в яких реалізується прийом підсадки фланця на заключній стадії процесу.

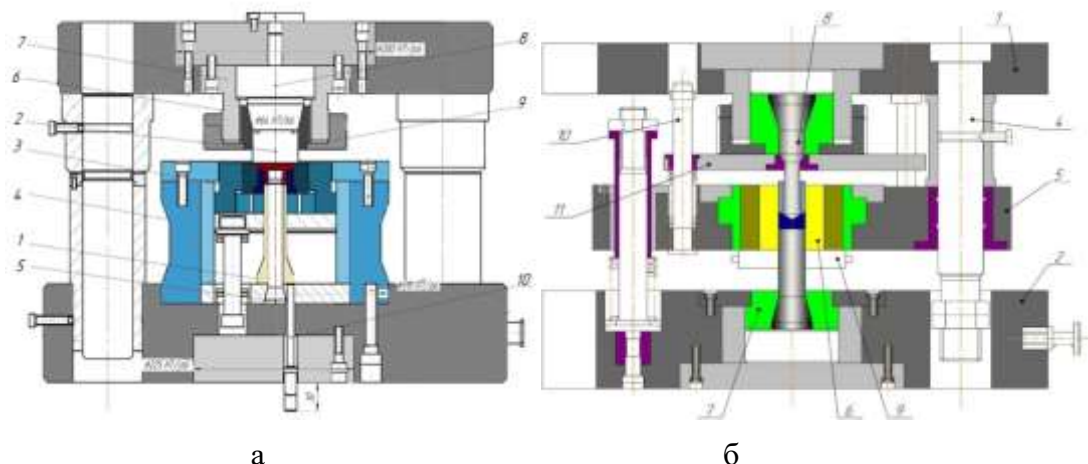


Рис. 3. Штмп для радіально-зворотного видавлювання (а) і штмп для наскрізного прошивання деталей типу втулки (б)

Design of dies for extrusion of precision parts

Aliiev Igramotdin, Levchenko Volodymyr, Markov Oleg, Sivak Roman, Malii Oleksandr

Cold extrusion processes are an effective method for manufacturing precision parts with high surface quality and precise dimensions. The stability of extrusion processes depends on the reliable design of the die tooling operating under extreme conditions. The article considers the designs of dies for new methods of transverse and combined transverse-longitudinal extrusion of hollow and rod parts with flanges, in which the die is made split one. Another feature of the dies is that in order to increase the accuracy of the dimensions of the parts along height and reliability of operation, at the final stage of extrusion, an additional kinematic and force effect is carried out – fitting of the flange by convergence of the halves of the split die closer together. A die is proposed for waste-free production of sleeve-type parts by through piercing of solid workpieces.

Keywords: extrusion; precision parts; dies; split and movable dies; transverse and combined extrusion.

Список літератури

1. Aliiev I.S. Radial extrusion process. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovoe Proizvodstvo)*. Part 3. 1988, pp. 54–61 ...ISSN: 0891-334x.
2. Aliiev I.S., Aliieva L.I., Zhibankov I.G. Press tools for the extrusion hollow parts with complex surface profiles. *In: Proceedings of the 9th International Conference «Research and Development in Mechanical Industry» (RaDMI-2009)*. Serbia :Vrnjačka Banja. 2009. September, pp. 139–143.
3. Aliiev I.S., Lobanov A.I., Borisov R.S., Savchinskij I.G. Investigation of die blocks with split matrixes for the processes of cross extrusion. *Forging and Stamping Production (Materials Working by Pressure)*. 2004. 8, pp. 21–26.
4. Алієва Л.І., Таган Л.В. Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: посібник для студентів спеціальностей 131–136. Краматорськ: ДДМА. 2020. 180 с. ISBN 978-966-379-927-8.
5. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням : монографія. Краматорськ : ДДМА. 2021. 176 с. ISBN 978-617-7889-08-2.
6. Пат. 152639 Україна. В21 J 13/02. Штмп для прямого видавлювання порожнистих деталей. Алієв І.С., Алієва Л.І., Абхари П.Б., Малій Х.В., Таган Л.В. № u202106745; заявл. 29.11.2021; опубл. 29.03.2023. Бюл. 13.

УДК 621.7.043

Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів за допомогою матриці спеціального профілю. Міф чи реальність?**Орлюк М.В.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. В роботі проведено детальний аналіз результатів дослідження можливості інтенсифікації витягування вісесиметричних виробів за допомогою матриці спеціального профілю, які були висвітлені у роботах [1, 2]. За результатами аналізу встановлено, що заявлені авторами вихідні параметри процесу перевищують ті граничні значення, за яких подібні процеси можуть бути реалізовані. Так закладений ступінь деформації процесу значно перевищує теоретичний (максимально можливий), відносна товщина заготовки набагато менша за мінімально допустиму, за якої теоретично можливе витягування у конусну матрицю без притискача, а моделювання процесу витягування виконане авторами без урахування можливої втрати стійкості заготовки. Проведене в рамках даної роботи повторне моделювання витягування за запропонованою авторами схемою позитивних результатів не дало та спростувало результати, викладені авторами у своїх роботах. У свою чергу додаткове моделювання, виконане за допомогою програмних продуктів DEFORM 3D, PAM-STAMP та FTI Forming Suite з дотриманням вимог по врахуванню можливої втрати стійкості заготовки лише підтвердило неможливість реалізації описаного авторами процесу в зв'язку з утворенням гофри під час витягування та отримання бракованої продукції як наслідок.

Ключові слова: витягування; інтенсифікація; моделювання; метод скінченних елементів; матриця спеціального профілю.

З появою таких програмних засобів як DEFORM, QFORM, PAM-STAMP тощо процес дослідження складних процесів деформування з одного боку значно спростився, з іншого боку такі програмні засоби дозволяють робити дослідження всебічними та більш ґрунтовними.

У той же час деякі дослідники отримані за результатами чисельного моделювання результати вважають достовірними та такими, що не потребують узгодження з теоретичними та практичними результатами, отриманими попередниками.

Так, наприклад, в роботах [1, 2] розглядається спосіб інтенсифікації багатоопераційного витягування за допомогою використання матриці спеціального профілю. Автори інтенсифікують процес виготовлення із низьковуглецевої сталі стакана $\varnothing 110$ мм та висотою 250 мм. Діаметр заготовки становить 360 мм, товщина - 2 мм. Розраховані авторами технологічні переходи витягування відповідно до рекомендацій [3] представлені на рис. 1, де під позицією 1 – вихідна заготовка, 2 та 3 – проміжні напівфабрикати, 4 – готовий виріб. Схема витягування, що була запропонована авторами для інтенсифікації процесу, зображена на рис. 2, де під позицією 1 – вихідна заготовка, 2 – матриця спеціального профілю, 3 – пуансон.

За результатами моделювання даного процесу в DEFORM 2D автори стверджують, що зміна традиційної геометрії матриці на складну багатоторову призводить до суттєвого зменшення кількості витяжних операцій і даний виріб можна отримати лише за одну операцію (замість трьох).

Але використання матриці спеціального профілю не змінює схеми напружено-деформованого стану (НДС) при витягуванні, а за таких умов серйозна інтенсифікація процесу видається сумнівною. Тому результати даного дослідження потребують детального дослідження та переосмислення.

Зазвичай для попередньої оцінки можливості реалізації процесу витягування використовуються відносні параметри процесу – ступінь витягування (або коефіцієнт витягування) та відносна товщина заготовки.

За даними Романовського В.П. [3] практично досяжний ступінь витягування становить $K_{пр} = 2,25$, а теоретичний (за даними Попова Є.А. [4]) - $K_T = 2,72$. Автори у своїй роботі закладають ступінь витягування $K = D_{зг}/D_M = 360/116 = 3,1$, що суттєво перевищує навіть теоретичний (максимальний) ступінь.

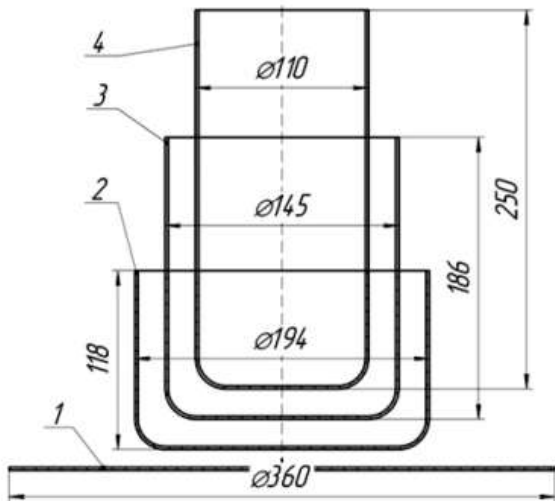


Рис. 1. Технологічні переходи витягування (за даними [1, 3])

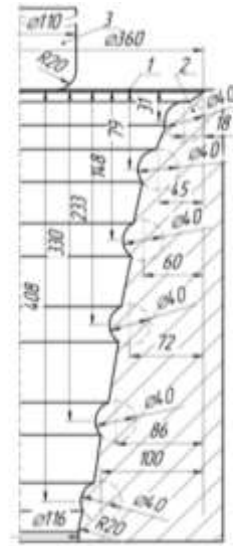


Рис. 2. Схема одноопераційного витягування у матрицю спеціального профілю (за даними [1, 2])

Оцінимо можливість витягування без притискача. Згідно рекомендацій [3] мінімально можлива відносна товщина заготовки, за якої можливе витягування в конусну матрицю (за виконання певних жорстких умов) складає 1,0. Відносна товщина заготовки, що розглядається в роботі, становить $100S/D_{зг} = 100 \times 2/360 = 0,56$. А це значно менше за гранично допустимого значення і за такої відносної товщини заготовки **ВИТЯГУВАННЯ В КОНУСНУ МАТРИЦЮ НЕМОЖЛИВЕ, ОСКІЛЬКИ ПОТРІБЕН ПРИТІСКАЧ.**

Проте автори знехтували необхідним попереднім аналізом і продовжили дослідження процесу витягування шляхом моделювання у середовищі DEFORM 2D. Але DEFORM 2D для моделювання витягування можна використовувати лише у тому випадку, коли є стовідсоткова впевненість, що в процесі деформування не буде втрати стійкості фланця (утворення гофри). В іншому випадку для моделювання має використовуватись DEFORM 3D, тобто потрібно розглядати об'ємну задачу.

Але оскільки автори у своїх роботах стверджують, що їм вдалось реалізувати в DEFORM2 D процес витягування за один перехід, тому було прийняти рішення відтворити описаний авторами експеримент, хоча за яких умов авторами виконувалось моделювання – не відомо.

Прогнозовано спроба відтворити процес витягування в DEFORM 2D у відповідності до схеми, запропонованої авторами (рис. 2), зазнала невдачі. В якості матеріалу заготовки було використано матеріал AISI-1008 (аналог сталі 08), швидкість переміщення пуансона становила 20 мм/с, коефіцієнт тертя за Кулоном – 0,15. При використанні пружно-пластичної моделі заготовки DEFORM 2D зупиняв розрахунок у зв'язку з відсутністю збіжності рішення, а за використання пластичної моделі відбувалось руйнування заготовки в процесі витягування (рис. 3).

Як видно з рис. 3 результати даного експерименту не підтверджують результати досліджень, наведеними авторами [1, 2]. У той же час, якщо припустити, що витягування без руйнування

можливе після протягування заготовки через четверту торову поверхню матриці (рис. 3,а), яка формує зовнішній діаметр стакану $\varnothing 176$ мм, то ступінь витягування в цьому випадку складе $K = 2,05$, що менше за практично досяжний $K_{пр} = 2,25$. Тобто навіть за результатами моделювання у DEFORM 2D ніякої інтенсифікації процесу витягування не спостерігається.

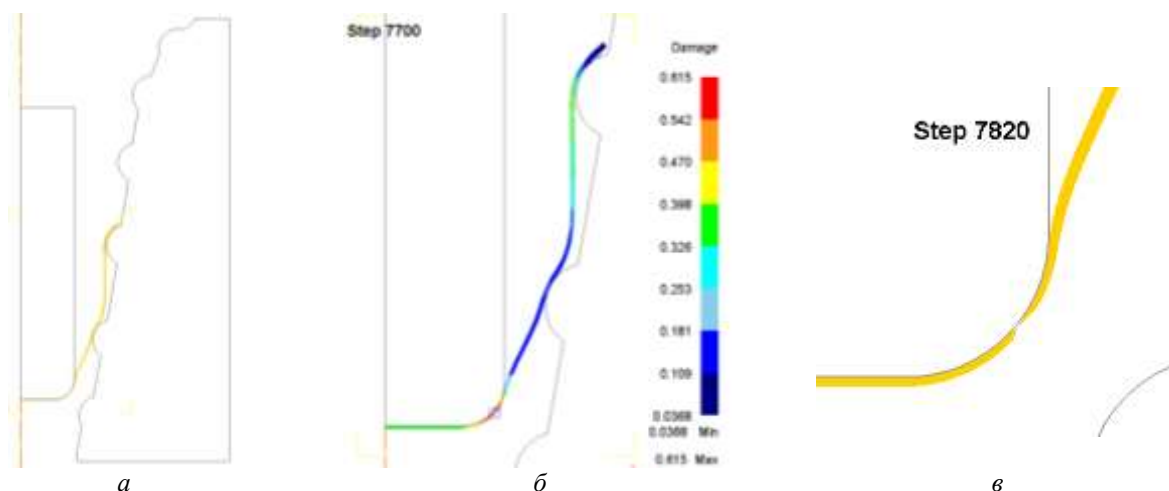


Рис. 3. Результати моделювання витягування заготовки в матрицю спеціального профілю в DEFORM 2D: а) момент початку руйнування заготовки; б) картина розподілу значень критерію руйнування Normalized C&L; в) момент руйнування

Але даний процес не можна досліджувати з використанням DEFORM 2D, оскільки заготовка має дуже малу відносну товщину, а дослідити втрату стійкості заготовки під час моделювання витягування в DEFORM 2D неможливо. Тому для перевірки можливості витягування даної заготовки в матрицю спеціального профілю без притискача було виконано моделювання даного процесу з використанням DEFORM 3D. Результати моделювання представлені на рис. 4.

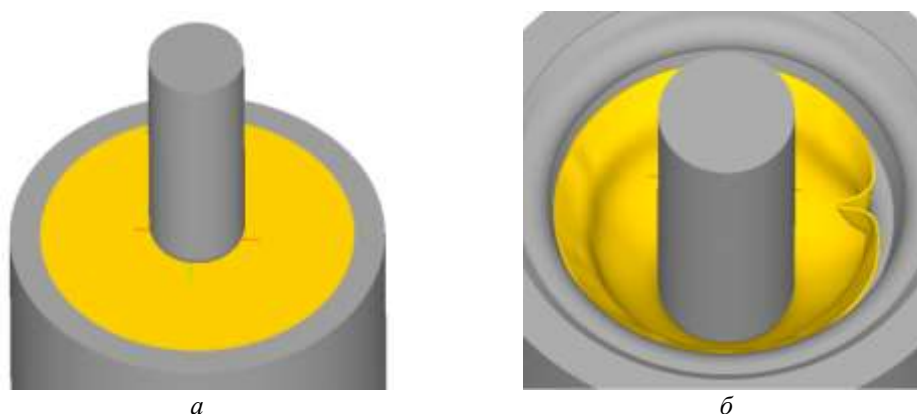


Рис. 4. Втрата стійкості заготовки під час моделювання витягування заготовки в матрицю спеціального профілю в DEFORM 3D: а) вихідне положення; б) утворення гофри

Як видно з результатів моделювання в DEFORM 3D заготовка в процесі витягування втрачає стійкість (рис.4,б) і виріб за даною схемою отримати не можливо.

Але слід зазначити, що DEFORM 3D не зовсім підходить для моделювання процесів формування листових заготовок, тому додатково моделювання даного процесу було здійснено в програмних засобах PAM-STAMP (рис. 5) та FTI Forming Suite (рис. 6), які безпосередньо використовуються для моделювання формозмінних операцій з листового матеріалу.

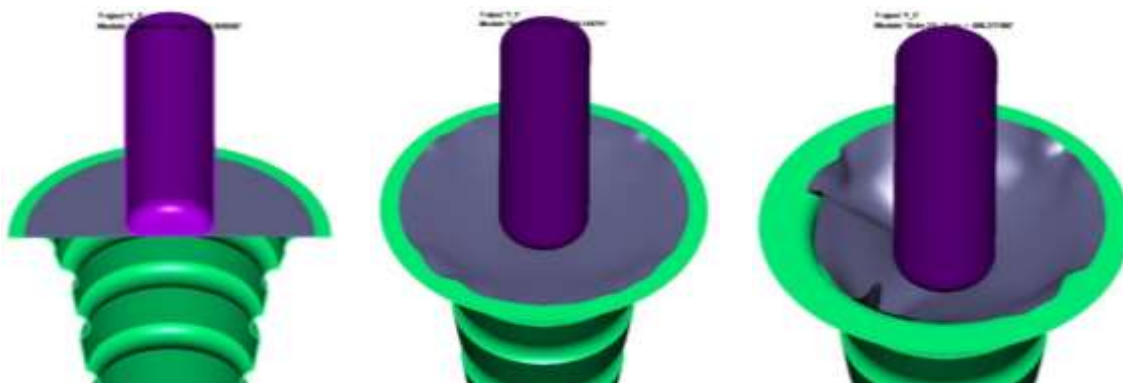


Рис. 5. Послідовність витягування заготовки в матрицю спеціального профілю за результатами моделювання в середовищі PAM-STAMP

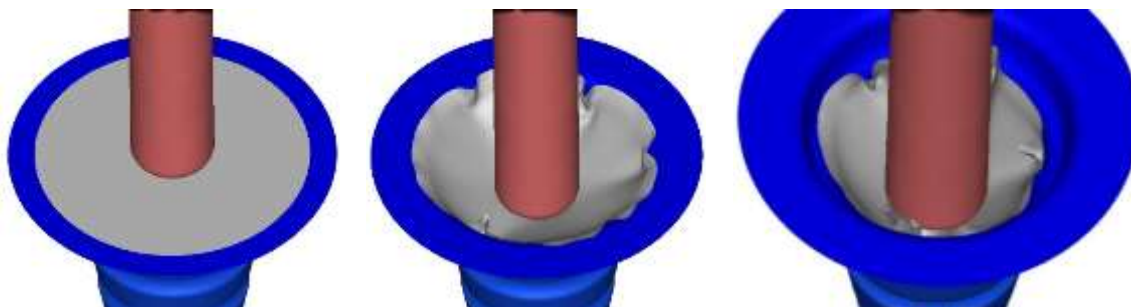


Рис. 6. Послідовність витягування заготовки в матрицю спеціального профілю за результатами моделювання в середовищі FTI Forming Suite

Усі три експерименти підтвердили втрату стійкості заготовки в процесі витягування та неможливість реалізації даного процесу. Відповідно усі результати досліджень, наведені в роботах [1, 2], які підтверджують ефективність використання матриці спеціального профілю для інтенсифікації процесу витягування, можна вважати надуманими та шкідливими, оскільки можуть призвести до невиправданих часових та матеріальних витрат при спробі реалізації даного процесу на практиці.

Reducing the number of extrusion passes for axisymmetric products using a special profile die. Myth or reality?

Mykhailo Orliuk

Abstract. The work provides a detailed analysis of the results of the study of the possibility of intensifying the drawing of axisymmetric products using a special-profile die, which were highlighted in the works [1, 2]. According to the results of the analysis, it was established that the initial process parameters declared by the authors exceed the limit values at which such processes can be implemented. The degree of deformation of the process set out in this way significantly exceeds the theoretical (maximum possible), the relative thickness of the workpiece is much less than the minimum permissible, at which drawing into a conical die without a presser is theoretically possible, and the authors performed the drawing process modeling without taking into account the possible loss of stability of the workpiece. The repeated drawing modeling carried out within the framework of this work according to the scheme proposed by the authors did not give positive results and refuted the results presented by the authors in their works. In turn, additional modeling performed using the DEFORM 3D, PAM-STAMP, and FTI Forming Suite software products, in compliance with the requirements for taking into account the possible loss of stability of the workpiece,

only confirmed the impossibility of implementing the process described by the authors due to the formation of corrugations during drawing and the resulting defective products.

Keywords: stretching; intensification; modeling; finite element method; special profile matrix.

Список літератури

1. Калюжний О.В. Зменшення кількості переходів витягування віссиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю. Обробка матеріалів тиском: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА., 2013. №4 (37). С. 93-97.
2. Калюжний О.В., Калюжний В.Л. Інтенсифікація формоутворюючих процесів холодного листового штампування. Київ: ТОВ «Сік Груп Україна», 2015. 292 с.
3. Романовський В.П. Довідник по холодному штампуванню. Л.: Машинобудування. 1979. 520 с.
4. Сторожев М.В., Попов Є.А. Теорія обробки металів тиском. Підручник для вузів. М.: Машинобудування. 1977. 423 с.

УДК 621.73.043

Вплив попереднього профілювання заготовок квадратного перерізу на подальші формозмінні операції

Ситник С.В.; Піманов В.В.; Орлюк М.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. За допомогою методу скінченних елементів в програмному комплексі DEFORM створено математичну модель та проведено моделювання процесів зворотного видавлювання заготовки квадратного перерізу з подальшим витягуванням з потоншенням, зворотного видавлювання спрофільованої заготовки квадратного перерізу з подальшим витягуванням та осаджування заготовки квадратного перерізу з подальшим зворотним видавлюванням порожнистого напівфабрикату та витягування. Відображено форму та розміри виробів після вказаних операцій. Проаналізовано вплив попереднього профілювання заготовок на подальші формозмінні операції. Встановлено, що застосування попереднього профілювання заготовки квадратного перерізу покращує протікання подальших формозмінних операцій.

Ключові слова. Метод скінченних елементів; осаджування; зворотне видавлювання; витягування; заготовка квадратного перерізу; напівфабрикат; профілювання.

Забезпечення прогнозованості технології виготовлення та зниження витрат матеріалу при отриманні будь-яких виробів завжди було, є та буде актуальним завданням. В роботі розглянуто вплив початкової геометрії заготовки квадратного перерізу на подальші формозмінні операції (зворотне видавлювання і витягування з потоншенням). Запропоновано спосіб осаджування усіх вершин заготовки квадратного перерізу перед операцією зворотного видавлювання. Використання заготовок квадратного перерізу для виготовлення вісесиметричних порожнистих виробів з одного боку полегшує процес встановлення та центрування таких виробів в матриці, а також покращується пропрацювання донної частини таких виробів пластичною деформацією, з іншого боку ускладнює подальшу обробку напівфабрикатів (роботу з напівфабрикатами) із-за нерівномірності деформації під час зворотного видавлювання.

Тому актуальним завданням є оптимізація форми вихідної заготовки для подальшого деформування, яка б забезпечила подальше рівномірне деформування (витягування з потоншенням) напівфабрикату, отриманого зворотним видавлюванням.

Метою роботи є вивчення впливу геометрії початкової форми заготовки квадратного перерізу на подальші операції зворотного видавлювання та витягування з потоншенням виробу із маловуглецевої сталі.

Для отримання порожнистих виробів різних форм та розмірів із вуглецевої сталі використовують різноманітні способи зворотного видавлювання. Такі способи описані в джерелі [1], де наведено рекомендації по проектуванню технологій та штампового оснащення, але недостатньо досліджено вплив початкової форми заготовок квадратного перерізу на подальші операції зворотного видавлювання і витягування з потоншенням порожнистих виробів із маловуглецевої сталі. Використання методу скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів формозмінних операцій дозволяє суттєво скоротити час на підготовку виробництва різних виробів процесами обробки металів тиском [2, 3]. Методику визначення параметрів штампування виробів з потрібним пропрацюванням структури металу пластичною деформацією в необхідних частинах або по всьому об'єму виробів досить добре описано в джерелах [4-8]. З допомогою такого пропрацювання можливо з достатньою точністю прогнозувати необхідні механічні властивості в zdeформованому металі.

Здійснено чисельні розрахунки МСЕ в програмному забезпеченні DEFORM процесів зворотного видавлювання заготовки квадратного перерізу, а також спрофільованої заготовки (імітація механічного зняття металу на всіх вершинах заготовки) з подальшим витягуванням з потоншенням та осаджування заготовки квадратного перерізу з подальшою операцією зворотного видавлювання та витягування з потоншенням.

На рис. 1 показано розраховану геометрію порожнистого напівфабрикату після зворотного видавлювання із заготовки квадратної форми. На рис. 2 відображено схему процесу зворотного видавлювання. Заготовка 1 з розмірами сторін 75x75 мм та висотою 55,6 мм встановлюється на плиту 3 з центруванням гранями по циліндричній частині матриці 2. Процес деформування відбувається за рахунок переміщення пуансона 4 до низу на задану висоту. На рис. 3 відображено схему процесу витягування з потоншенням порожнистого виробу. Заготовка 1 встановлюється своєю конусною частиною на відповідну конусну частину матриці 2. Процес деформування відбувається за рахунок переміщення пуансона 3 до низу.

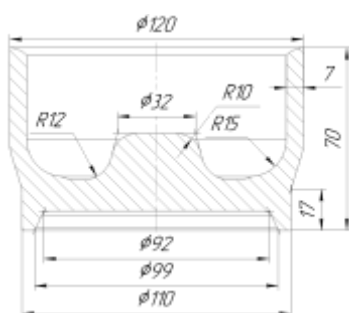


Рис. 1. Розрахована геометрія порожнистого напівфабрикату після зворотного видавлювання

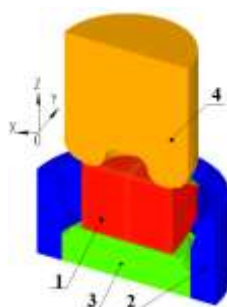


Рис. 2. Схема зворотного видавлювання: 1 – заготовка, 2 – матриця, 3 – плита, 4 – пуансон

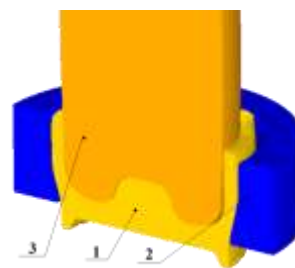
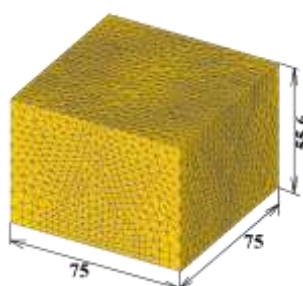
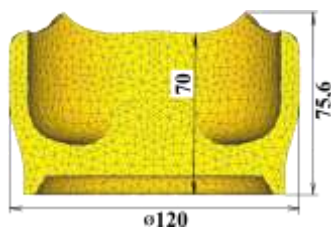


Рис. 3. Схема витягування з потоншенням: 1 – заготовка, 2 – матриця, 3 – пуансон

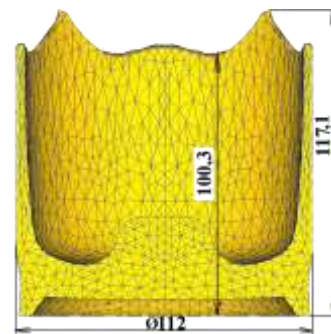
На рис. 4 відображено операційні переходи формоутворення порожнистого виробу без попереднього профілювання заготовки. На рис. 4,а відображено форму та розміри вихідної заготовки, на рис. 4,б - форму та розміри порожнистого напівфабрикату, zdeформованого за схемою зворотного видавлювання (рис. 2), а на рис. 4,в - форму та розміри порожнистого виробу отриманого витягуванням з потоншенням (рис. 3).



а



б



в

Рис. 4. Операційні переходи формоутворення порожнистого виробу без профілювання заготовки: а – вихідна заготовка, б – напівфабрикат після зворотного видавлювання, в – виріб після витягування

Розглядаючи рис. 4,б можна побачити, що на верхньому торці напівфабрикату з вершин заготовки в процесі деформування утворюються виступи. Такі виступи несприятливо впливають на подальші операції витягування (рис. 4,в).

За результатами аналізу отриманої геометрії порожнистого виробу (рис. 4,в), прийнято рішення перед операцією зворотного видавлювання імітувати механічне зняття металу на усіх вершинах заготовки квадратної форми (зробити фаски висотою 15 мм під кутом 45°). На рис. 5 відображено операційні переходи формоутворення порожнистого виробу із заготовки після механічного зняття фасок. На рис. 5,а показано вихідну заготовку з механічно знятими фасками, на рис. 5,б - порожнистий напівфабрикату після зворотного видавлювання, на рис. 5,в – порожнистий виріб після витягування з потоншенням. Як видно з рис. 5,б форма верхнього торцю майже рівна (не спостерігається формоутворення виступів), а на рис. 5,в видно формоутворення виступів на верхньому торці, які порівняно з рис. 4,в значно менші. Це дає змогу зменшити витрати металу при операції торцювання. Однак для крупносерійного та масового виробництва механічне зняття металу на заготовці є неприпустимим, тому для наведеного типу виробництва запропоновано спосіб осаджування заготовки квадратної форми перед операцією зворотного видавлювання.

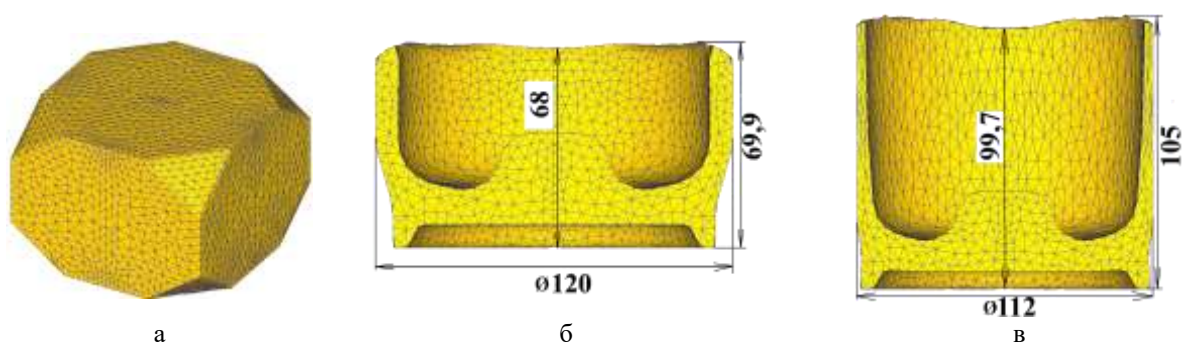


Рис. 5. Операційні переходи формоутворення порожнистого виробу з механічним зняттям фасок на вершинах заготовки: а – вихідна заготовка, б – проміжний напівфабрикату після зворотного видавлювання, в – виріб після витягування

На рис. 6 показано операційні переходи формоутворення порожнистого виробу з осадженої заготовки. На рис. 6,а напівфабрикату після профілювання вихідної заготовки (рис.4) осадженням, на рис. 6,б - порожнистий напівфабрикату після зворотного видавлювання, на рис. 6,в – порожнистий виріб після витягування з потоншенням. Форма проміжного напівфабрикату (рис. 6,б) і виробу (рис. 6,в) така ж як і виробів, зображених на рис 5,б та 5,в відповідно.

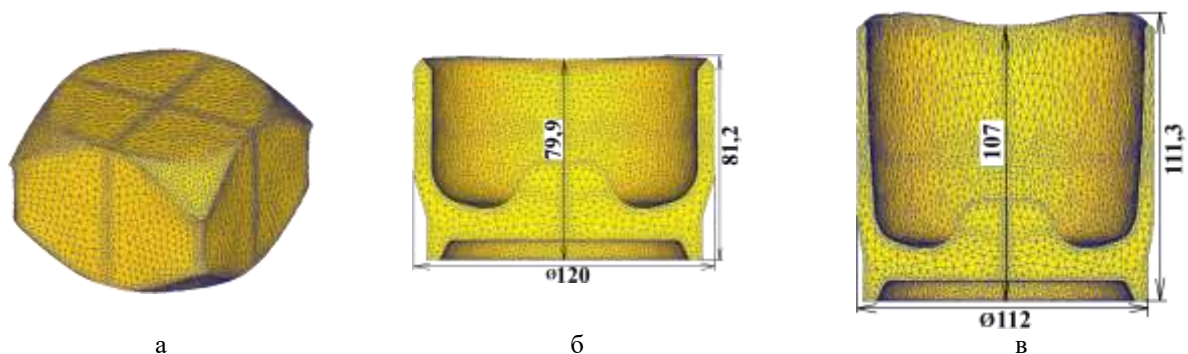


Рис. 6. Операційні переходи формоутворення порожнистого виробу з осадженої заготовки: а – осаджений напівфабрикату, б – проміжний напівфабрикату після зворотного видавлювання, в – виріб після витягування

Однак розміри по висоті виробів, що наведено на рис. 5,б та 6,б, а також на рис. 5,в та 6,в різні. Штампування напівфабрикатів із застосуванням попереднього профілювання заготовки осадженням дозволяє отримати напівфабрикати більшої висоти. Відповідно для отримання

напівфабрикату з необхідними розмірами (рис. 1) та виробу після витягування можна брати заготовку квадратного перерізу меншої висоти, що дозволить зменшити витрати металу на виробництві.

Висновки.

В роботі за допомогою комп'ютерного моделювання з використанням методу скінченних елементів досліджено два варіанта попереднього профілювання заготовки квадратного перерізу. Перший варіант, який раціонально використовувати за невеликої серійності виробництва – утворення кутових фасок механічною обробкою та другий варіант – попереднє осаджування вершин.

За результатами досліджень встановлено, що обидва варіанта дозволяють оптимізувати геометрію вихідної заготовки та суттєво покращити наступне її деформування. У свою чергу профілювання за допомогою механічної обробки є більш гнучким, дозволяє коригувати розмір фасок без значних додаткових витрат на виробництво, але не збільшує коефіцієнт використання матеріалу, тому цей спосіб не може бути рекомендованим для серійного та масового виробництва. Попереднє осаджування у свою чергу хоч і потребує суттєвих додаткових витрат на виробництво, але дозволяє за рахунок раціонального перерозподілу металу знизити загальні витрати металу на виробництво виробу, що за серійного та масового виробництва відіграє першочергову роль.

The influence of preliminary profiling of blanks of square section for further shape-changing operations

Stanislav Sytnyk; Valeriy Pimanov; Mykhailo Orliuk

***Abstract.** Using the finite element method in the DEFORM software complex, a mathematical model was created and simulations were carried out of the processes of reverse extrusion of a square cross-section blank followed by drawing with thinning, reverse extrusion of a profiled square cross-section blank followed by draw, and deposition of a square cross-section blank followed by reverse extrusion of a hollow semi-finished product and drawing. The shape and dimensions of the products after the indicated operations are displayed. The influence of preliminary profiling of blanks on subsequent shape-changing operations is analyzed. It was established that the use of preliminary profiling of a square cross-section workpiece improves the flow of subsequent shape-changing operations.*

***Keywords.** Finite element method; sedimentation; reverse extrusion; draw; blank of square section; semi-finished product; profiling.*

Список літератури

1. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х. т. Т.2. Горячая объемная штамповка. Под ред. Е.И. Семенова. Москва: Машиностроение. 1986. 592 с.
2. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. Днепропетровск: Системные технологии. 2008. 448 с.
3. Снитко С.А., Калюжный В.Л. Конечно-элементное моделирование многопереходного формоизменения при производстве железнодорожных колес. Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. Киев: НТУУ «КПИ». 2011. № 11. С. 106-112.
4. Алиев И.С., Марков О.Е., Жбанков Я.Г. Влияние операции выворота поковки коническими плитами на распределение деформаций. Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА, 2010. №3 (24). С. 64-69.
5. Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Таган Л.В. Управление напряженно-деформированным состоянием заготовки в процессах ковки крупных поковок. Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА. 2013. №1 (34). С. 50-59.
6. Марков О.Е., Шарун А.О., Косилов М.С. Современные способы получения тонкостенных днищ ответственного назначения. Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА, 2017. №1 (44). С. 115-123.
7. Калюжный В.Л., Алиева Л.І., Ярмоленко О.С., Ситник С.В. Гаряче видавлювання із високовуглецевої сталі конусних порожнистих виробів. Mech. Adv. Technol. Vol. 6, No. 3, 2022, pp. 302–308.

8. Калужный В.Л., Алиева Л.И., Алиев И.С., Горноста́й В.Н. Горячая объемная штамповка полых изделий из высокопрочного алюминиевого сплава с заданными механическими свойствами. Заготовительное производство. Москва. 2018. №12. С. 18-25.

УДК 621.983

Холодне штампування з міді вісесиметричного конусного виробу із використанням операцій витягування і обтиску

Калюжний В.Л., Мельников А.Л.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. В роботі розглянуто моделювання методом скінченних елементів двох переходів штампування конусного виробу з використанням витягування в конусній матриці напівфабрикату з конусною і циліндричною частинами та подальшого обтиску циліндричної частини з отриманням готового виробу. Здійснено моделювання витягування в конусній матриці спеціального профілю, вилучення пуансону із деформованої заготовки та виштовхування напівфабрикату із матриці. Встановлено залежність зусилля витягування від переміщення пуансону, напружений і деформований стани при витягуванні та форму і розміри напівфабрикату після витягування. З урахуванням накопичених деформацій і вичерпаного ресурсу пластичності у металі напівфабрикату проведено моделювання обтиску циліндричної частини цього напівфабрикату. Визначено зусилля обтиску, кінцевий деформований стан і ресурс пластичності у металі виробу та його форму і розміри.

Ключові слова: метод скінченних елементів, конусний виріб, витягування, конусна матриця, обтиск, зусилля, деформації, ресурс пластичності.

В залежності від відношення висоти конусної деталі (h) до зовнішнього діаметру (d) та величини кута твірної конуса (α) автор роботи [1] розподіляє такі вироби на три групи – низькі, середні та високі. Найбільшу складність при виготовленні витягуванням із листової заготовки мають високі конусні деталі, для яких $h/d=0,8$ і $\alpha=10^\circ\div 30^\circ$. Для отримання таких деталей використовують багатоперехідне витягування, яке включає 4-7 переходів [1-3]. Авторами [4] для зменшення кількості переходів штампування запропоновано застосування операцій витягування циліндричного напівфабрикату з наступними переходами обтиску. Подальшим розвитком такого підходу, на наш погляд, є використання на першому переході витягування в конусній матриці.

Формоутворення конусного виробу з використанням витягування із притискачем в конусній матриці спеціального профілю та подальшого обтиску зображена на рис. 1. На рис. 1а показано схему витягування напівфабрикату в конусній матриці. Тут і надалі ліворуч від вісі симетрії наведено вихідний стан перед витягуванням, а праворуч - після витягування. Вихідну листову заготовку 1 діаметром D_0 і товщиною S_0 встановлено між матрицею 2 та притискачем 3. Зусилля деформування P_0 прикладають за допомогою пуансону 4. В результаті витягування отримують напівфабрикат 5 із потрібним кутом α конусної частини діаметром d_k і висотою h_k та циліндричною частиною діаметром d_{ci} і висотою h_{ci} . При цьому висота h_{ci} та діаметр d_{ci} циліндричної частини повинні бути такими, щоб забезпечити виконання подальшого обтиску за один перехід та отримання необхідної висоти конусного виробу. Для видалення напівфабрикату із матриці 2 передбачено виштовхувач 6. Форма деформуючої поверхні матриці утворена перетином торів з діаметром перерізу d_l та з кроком розташування t (рис. 1б). Дотична до поверхонь торів утворює кут α з віссю симетрії матриці. Крок розташування торів t повинен бути таким, щоб не було прогинання стінки заготовки між виступами деформуючої поверхні матриці. Такий профіль забезпечує суттєве зниження сил тертя між zdeформованою заготовкою і матрицею та зменшення величини розтягувальних напружень в стінці циліндричної частини [5]. Отриманий напівфабрикат 5 підлягає подальшому обтиску на другому переході штампування (рис. 1в). Напівфабрикат 1 після витягування встановлено на штовхач 2, який виконує роль виштовхувача якщо виріб

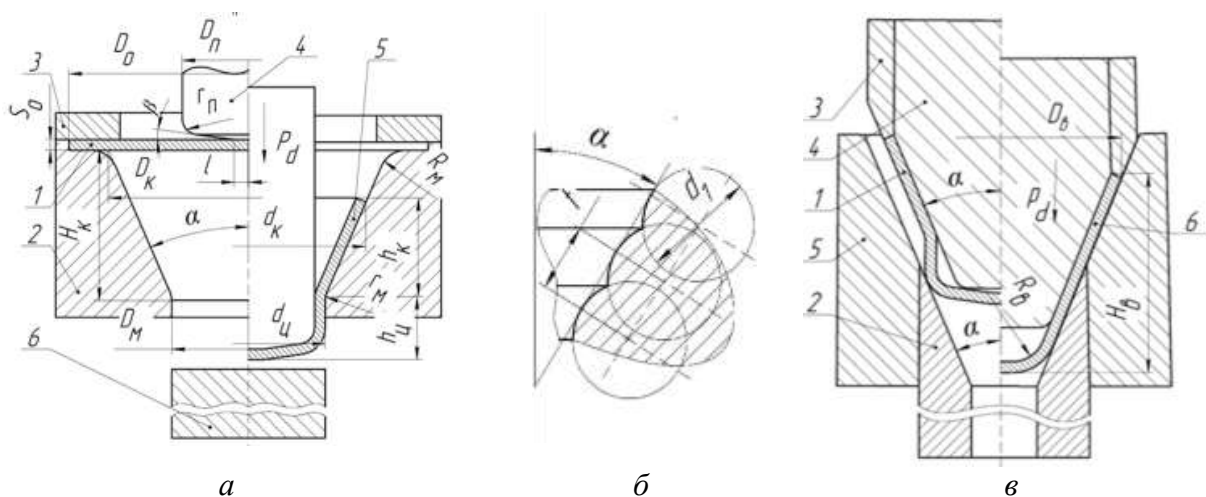


Рис. 1. Формоутворення конусного виробу з використанням витягування із притискачем в конусній матриці спеціального профілю та подальшого обтиску: *а* – схема витягування в конусній матриці, *б* – профіль деформуючої поверхні матриці, *в* – схема обтиску з отриманням конусного виробу залишитися в матриці 5. Зусилля деформування P_∂ прикладають за допомогою одночасного переміщення пуансону 4 із знімачем 3. При опусканні пуансону 4 зі знімачем 3 отримують конусний виріб 6 діаметром D_6 , висотою H_6 та кутом α і радіусом заокруглення R_6 .

Метою роботи є визначення параметрів витягування напівфабрикату в конусній матриці спеціального профілю та подальшого його обтиску та виявлення розмірів напівфабрикату після витягування і кінцевих розмірів конусного виробу.

Встановлення параметрів та розмірів проведено шляхом моделювання методом скінчених елементів (МСЕ) із застосуванням програми DEFORM. Використано пружно-пластичну модель ізотропного металу. Тертя на контактуючих поверхнях визначено по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu=0,1$. Швидкість деформування складала 2 мм/сек. При моделюванні операції обтиску враховані накопичені деформації та вичерпаний ресурс пластичності здеформованого металу, які отримані на першому переході витягування.

Витягуванню підлягала листова заготовка діаметром $D_0 = 256$ мм і товщиною $S_0 = 3,5$ мм із відпаленої міді М2 з умовною межею текучості $\sigma_{0,2} = 100$ МПа. Розміри пуансона (див. рис. 1а): $D_n = 93,6$ мм, $r_n = 15$ мм, $\beta = 15^\circ$, $l = 5$ мм. Наведені розміри пуансону встановлені розрахунком і забезпечували необхідну форму напівфабрикату з мінімальним потоншенням стінки на радіусі заокруглення r_n та в донній частині. Кут конусної поверхні матриці α визначався формою конусного виробу та складав $\alpha = 21^\circ$. Інші розміри матриці: $D_M = 100$ мм, $D_K = 230$ мм, $R_M = 16$ мм, $r_M = 30$ мм, $H_K = 133$ мм.

Моделюванням за допомогою МСЕ виявлені всі етапи отримання напівфабрикату витягуванням. На рис. 2 зображено в розрізі послідовність формоутворення напівфабрикату витягуванням в конусній матриці спеціального профілю. Положення перед витягуванням показано на рис. 2а. Вихідну заготовку 1 встановлено між матрицею 2 і притискачем 3. Зусилля прикладається за допомогою пуансону 4. На рис. 2б наведено положення в кінці витягування. Витягування завершували при переміщенні пуансону 4 на 205 мм, при якому не відбувається інтенсивного потоншення стінки здеформованої заготовки на радіусі заокруглення цього пуансону. Розрахунок показав, що при зворотному переміщенні пуансону напівфабрикат

залишаються в матриці (рис. 2в). Положення після вилучення напівфабрикату виштовхувачем 6 зображено на рис. 2г. Загальний вигляд напівфабрикату наведено на рис. 2д.

На рис. 3 зображено силові режими при витягуванні. На рис. 4 представлено форму і розміри половини напівфабрикату після витягування та розподіли у zdeформованому металі інтенсивності деформацій ε_i і вичерпаного ресурсу пластичності ψ . Тонкими лініями показано деформуючий інструмент, а розміри по вісях представлено в міліметрах.

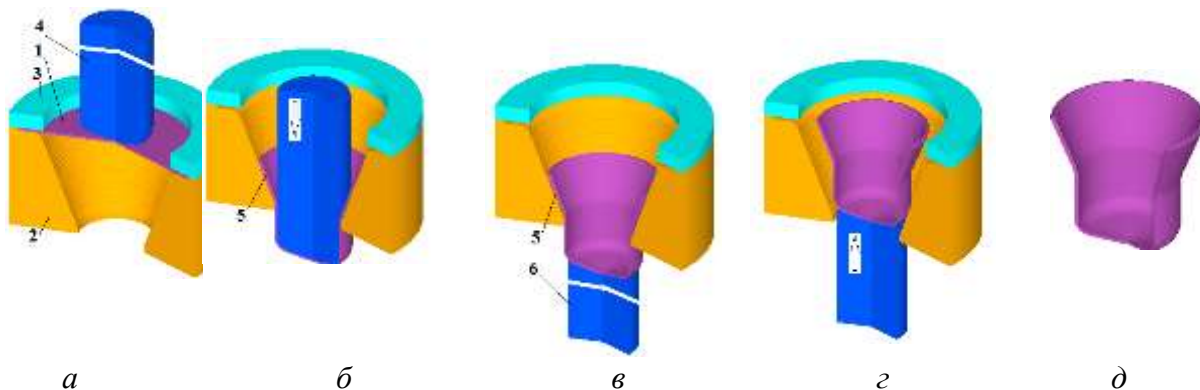


Рис. 2. Положення в розрізі при витягуванні в конусній матриці спеціального профілю: а – положення на початку витягування, б - положення в кінці витягування, в – положення після вилучення пуансону із деформованої заготовки, г – положення після виштовхування напівфабрикату із матриці, д – загальний вигляд напівфабрикату

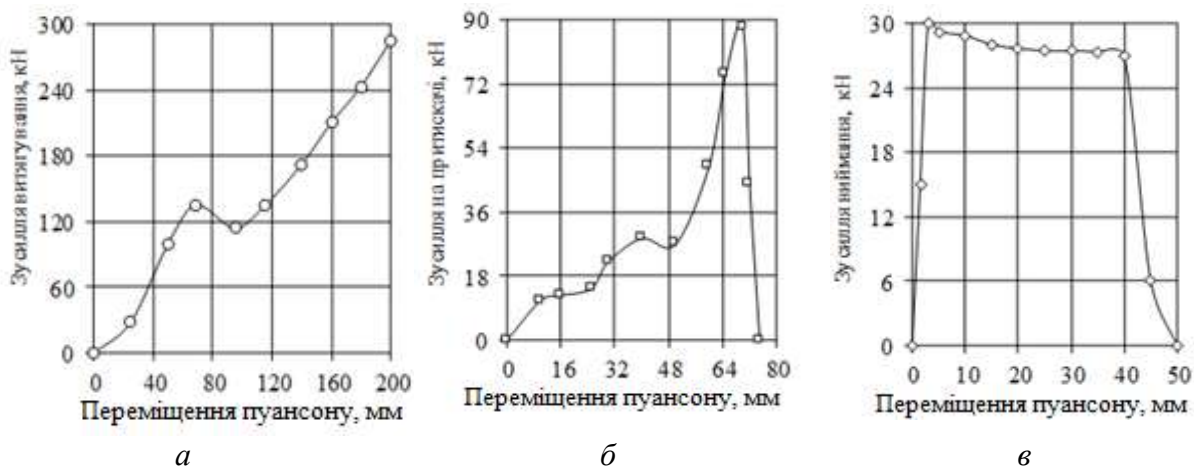


Рис. 3. Силові режими при витягуванні: а – залежність зусилля витягування від переміщення пуансону, б – залежність зусилля на притискачі від переміщення пуансону, в – залежність зусилля виймання пуансону із напівфабрикату при зворотному ході

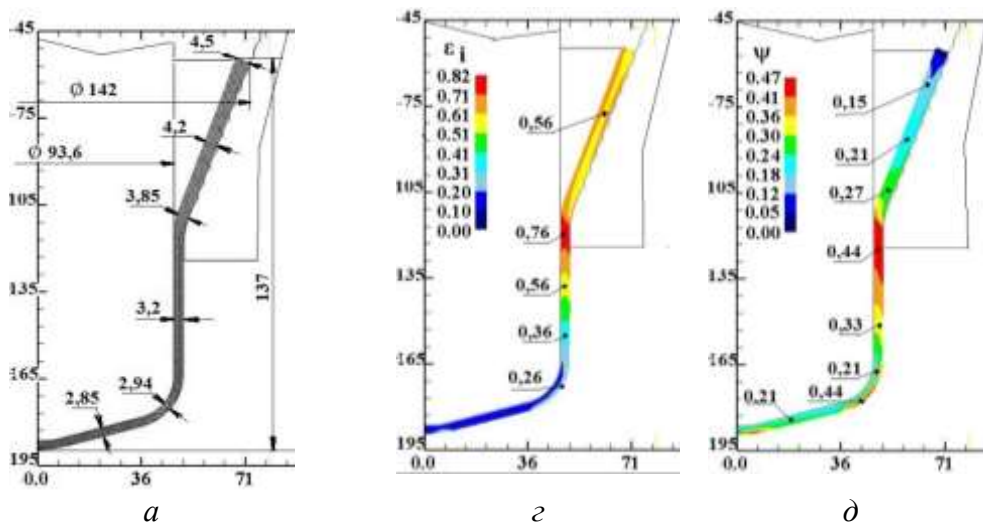


Рис. 4. Форма і розміри половини напівфабрикату після витягування та розподіли у zdeформованому металі інтенсивності деформацій ε_i і вичерпаного ресурсу пластичності ψ

Приклад розрахункової схеми в кінці обтиску показано на рис. 5. Формоутворення виробу 5 відбувається в матриці 3 при опусканні пуансону 1 зі знімачем 2. Вилучення виробу з матриці 3 здійснюється виштовхувачем 4.

На рис. 6 зображено залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону зі знімачем.

Форму і розміри половини виробу та розподіл інтенсивності деформацій ε_i після обтиску наведено на рис. 7.

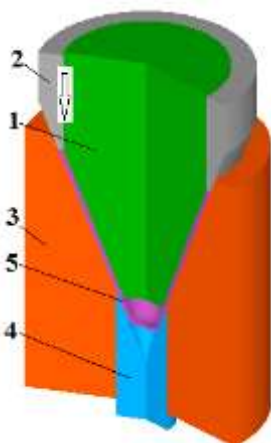


Рис. 5. Приклад розрахункової схеми в кінці обтиску

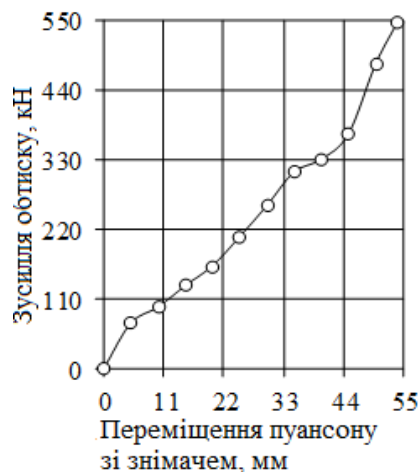


Рис. 6. Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону

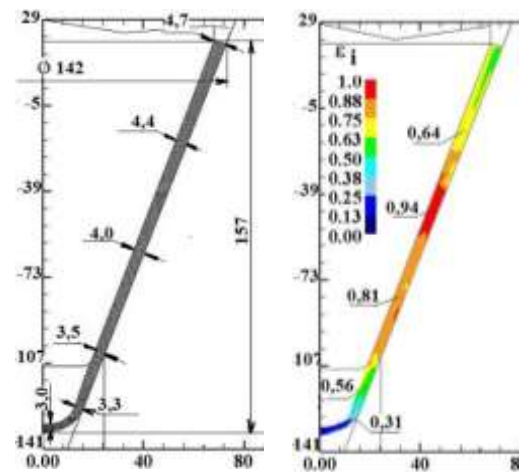


Рис. 7. Форма і розміри половини виробу (a) та розподіл інтенсивності деформацій ε_i (б) після обтиску

Cold stamping of an axisymmetric cone product from copper using drawing and crimping operations

Kaliuzhnyi Volodymyr, Melnykov Andriy

Abstracts. The paper considers the finite element modeling of two transitions of stamping a cone product using the drawing in a cone die of a semi-finished product with cone and cylindrical parts and subsequent

compression of the cylindrical part to obtain a finished product. Modeling of drawing in a conical die of a special profile, removal of the punch from the deformed workpiece and pushing the semi-finished product out of the die was carried out. The dependence of the pulling force on the punch displacement, the stress and strain states during pulling, and the shape and dimensions of the semi-finished product after pulling were determined. Taking into account the accumulated deformations and the exhausted plasticity resource in the metal of the semi-finished product, the compression of the cylindrical part of this semi-finished product was modeled. The compression force, the final deformed state, and the plasticity resource in the metal of the product, as well as its shape and dimensions, were determined.

Keywords: finite element method, conical product, drawing, conical matrix, compression, forces, deformations, plasticity resource

Список літератури

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп.— Ленингр. отд-ние: Машиностроение. 1979. — 520 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка/ Под ред.. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.
3. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. - М: Машиностроение, 1989. - 304 с.
4. Гречников В.Ф. Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / Ф.В. Гречников, А.М. Дмитриев, В.Д. Кухарь и др.; Под общ. Ред. А.Г. Овчинникова. – М. Машиностроение, 1985. – 184 с.
5. Калюжний О.В., Соколовська С.С. Комбіноване витягування вісесиметричних порожнистих виробів з листових заготовок із сталі ASSI-316L в одноконусній матриці та матриці спеціального профілю // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016 р. – №1 (42). – С. 157-164.